

Titre de la Thèse: Modélisation globale et locale des structures multicouches par éléments finis de plaque.

Résumé: On propose dans ce travail des modélisations numériques globale et locale pour l'analyse des structures multicouches.

Dans la première partie du mémoire, nous construisons un nouveau modèle monocouche équivalente destiné à l'analyse globale des multicouches épais, notamment des structures sandwich. Les équations du modèle sont de type Reissner-Mindlin avec *précontraintes*. Ces *précontraintes* sont déterminées itérativement en partant d'une solution classique. Le modèle est ensuite implémenté dans le code éléments finis ABAQUS en développant un programme post-processeur pour le calcul itératif. La validité du modèle est testée sur différents exemples en comparant avec les solutions exactes et les calculs EF.

Dans la seconde partie de la thèse, un nouvel élément fini de plaque basé sur le modèle \mathcal{M}_4 (Modèles Multiparticulaires des Matériaux Multicouches) du LAMI-ENPC est formulé pour l'analyse locale des contraintes interlaminaires. Cet élément quadrilatère à 8 noeuds est de continuité C^0 et possède $5n$ d.l.l par noeud (n étant le nombre de couche). Les contraintes interlaminaires sont déterminées directement à partir des équations constitutives du modèle en évitant des calculs supplémentaires. Un programme EF est développé pour l'implémentation de cet élément multiparticulaire. Le code EF obtenu est validé puis appliqué à l'étude des problèmes de bord libre.

Finalement un exemple d'application de la stratégie d'analyse globale-locale est présenté en utilisant les modèles EF proposés dans cette thèse.

Mots clés matériaux multicouches - sandwich - précontraintes - élément fini - plaque - modèles multiparticulaires - contraintes interlaminaires - effet de bord

Title of Thesis: Finite elements for global and local modelling of multilayered plates.

Abstract: Within this thesis, global and local numerical models are proposed for the analysis of composite multilayered structures.

In the first part of the dissertation, we develop a new equivalent single-layer model dedicated to global analysis of thick laminates, particularly to sandwich structures. The model's fundamental equations are similar to Reissner-Mindlin ones with *pre-stresses*. These *pre-stresses* are evaluated in an iterative manner starting from a classical solution. This model is implemented in ABAQUS finite element code using a postprocessing program for the iterative aspect. The validity of the proposed model is tested by several exemples in comparison with exact solutions and FE calculations.

In the second part of the thesis, a new plate element based on the *M*ultiparticle *M*odel of *M*ultilayered *M*aterials (\mathcal{M}_4) of LAMI-ENPC is formulated for the local analysis of interlaminar stresses. This 8 nodes quadrilateral element is of C^0 continuity and has $5n$ d.o.f per node (n is the layer's number of the laminate). The interlaminar stresses are determined in a straight forward manner from the constitutive equations. A finite element program is developed for the implementation of this multiparticle element. The FE code obtained is validated then applied for free edge effects analysis. Finally an exemple of application of global-local analysis strategy is presented using the FE models developed within this thesis.

Keywords multilayer materials - sandwich - pre-stresses - finite element - plate multiparticle models - interlaminar stresses - free edge effect